

PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO: USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO ELECTRE TRI PARA DEFINIÇÃO DE MELHORES AÇÕES DE MANUTENÇÃO A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Gustavo Borges Alencar Siqueira (UFPE)

borgesgustavo@gmail.com

Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante (UFPE)

cristiano@ufpe.br

Augusto César Montenegro e Silva (UFPE)

gutomonte@hotmail.com

Rodrigo Tenório Vasconcelos (UFPE)

rodrigo_tenorio@hotmail.com



Este trabalho apresenta uma aplicação de um método multicritério de apoio à decisão, mais especificamente o método ELECTRE TRI, para a classificação de equipamentos. Essa nova abordagem permite um tratamento mais adequado da atribuição de criticidade aos equipamentos em face de suas características operacionais, sua função e importância no sistema. Assim, a partir da classificação ordenada realizada e com base na distinção entre classes de prioridade, será possível um melhor direcionamento dos recursos para os equipamentos considerados mais importantes sob uma perspectiva global, levando-se em consideração as preferências do decisor. Isso permitirá à empresa um planejamento eficiente e mais organizado das atividades de manutenção, com foco nos equipamentos mais críticos, evitando-se, assim, a execução de tarefas desnecessárias ou inexpressivas.

Palavras-chaves: Planejamento da Manutenção, Apoio Multicritério a Decisão, ELECTRE TRI

1. Introdução

No ambiente competitivo em que se encontram, as organizações empenham-se cada vez mais para obter bons resultados em seus diversos departamentos. Esforços vêm sendo direcionados para a otimização dos sistemas produtivos com o intuito de alcançar uma utilização mais racional dos recursos, diminuir desperdícios e, conseqüentemente, aumentar os lucros. Neste contexto, evidencia-se o papel da Manutenção como função estratégica das organizações, responsável direta pela funcionalidade dos sistemas (disponibilidade, eficiência e qualidade), por mantê-los em condições adequadas de funcionamento e pela segurança e bem-estar dos funcionários (DEKKER, 1996).

Contudo, alguns aspectos devem ser levados em consideração, em um momento inicial, para assegurar que as ações de manutenção a serem executadas sejam realmente as mais eficazes. Trata-se do planejamento e programação da manutenção, funções responsáveis pela estruturação de todo o processo e alocação dos recursos da manutenção (homens, ferramentas, equipamentos, máquinas sobressalentes, etc) de acordo com as tarefas a serem desenvolvidas. Desta forma, desenvolve-se um plano de manutenção com base na disponibilidade dos recursos e análise de prioridades (DUFFUAA & AL-SULTAN, 1997).

Na literatura técnica, existem alguns procedimentos para a determinação de criticidade de falhas de equipamentos em função das conseqüências que essas podem causar, o que evidencia as prioridades da manutenção. Uma abordagem que, neste espírito de planejamento e organização, tem largamente influenciado as decisões e a maneira de se trabalhar com a manutenção ao longo dos anos consiste na RCM (*Reliability Centered Maintenance*).

2. RCM

Para assegurar uma administração racional das atividades de manutenção é fortemente recomendado que se realize um planejamento sistemático das operações da área. Deste modo, com o objetivo de se estabelecer um plano de manutenção viável e eficiente, é utilizada a técnica RCM, onde são analisadas as conseqüências das falhas que podem vir a ocorrer e as atividades que devem ser realizadas para preveni-las (KIMURA *et al*, 2002). Neste sentido, em sua essência a RCM pode ser definida como uma técnica para tornar mais organizadas as atividades de manutenção (FONSECA & KNAPP, 2000).

De acordo com Kimura *et al* (2002), o processo da RCM pode ser definido em três passos:

- a) Produtos ou sistemas alvos de manutenção devem ser claramente identificados e os dados necessários coletados;
- b) Todas as possíveis falhas e seus efeitos devem ser sistematicamente analisados. Apesar de este passo ser o mais entediante e demorado, é também a parte mais importante do processo da RCM e sua essência consiste praticamente na utilização da ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*);
- c) São consideradas ações preventivas ou corretivas. A programação da manutenção é feito de acordo com a efetividade que cada possível política terá em assegurar aspectos como confiabilidade, custos baixos, etc.

Essas etapas devem ser desenvolvidas em seqüência proporcionando, ao final, o planejamento e programação das atividades de manutenção focando nas funções mais importantes do sistema e evitando ou removendo ações de manutenção que não são estritamente necessárias (RAUSAND, 1998).

Por outro lado, existem alguns problemas relacionados com a prática do RCM. De acordo com Carretero *et al* (2003), em primeiro lugar, pode-se citar a dificuldade com a implantação da RCM por ela envolver uma grande quantidade de recursos, tempo e energia. Com uma expectativa de melhorias imediatas, vários projetos na área falham por só gerarem benefícios em longo prazo. Em segundo lugar, observa-se falta de comprometimento, em alguns casos, da alta direção, que precisa apoiar e impulsionar a metodologia RCM aos funcionários da empresa para que, com o envolvimento de todos, se obtenha o resultados esperado. Finalmente, cita-se o fato de que aplicar RCM a cada pequeno sistema da enorme infraestrutura da empresa pode tornar o estudo muito complexo e demorado.

Além disso, durante a utilização do FMEA, no segundo passo, novos erros podem ocorrer, os quais serão expostos na Seção 3.

3. FMEA

FMEA é uma ferramenta amplamente utilizada com o objetivo de identificar, priorizar e eliminar falhas no projeto do produto ou do processo, por meio da análise de falhas potenciais e propostas de ações de melhoria. Assim, o principal objetivo do FMEA é auxiliar na análise e prevenção dos modos de falhas. Para isso, é feita uma priorização de acordo com um índice conhecido como RPN (*Risk Priority Number*), o qual é definido como o produto de três aspectos diferentes: severidade (S), ocorrência (O), e detecção (D).

Esses três fatores (S, O e D) correspondem, respectivamente, a quão grave é a falha, quão freqüente e quão difícil é ser detectada. Eles são estabelecidos de acordo com escalas, cuja construção não apresenta a fundamentação teórica e o rigor necessário (RHEE & ISHII, 2003).

Apesar de várias empresas usarem essa técnica, ela é bastante limitada e engloba vários problemas, conforme apresentado por Chin *et al* (2009):

- Diferentes valores de S, O e D podem produzir exatamente o mesmo valor do RPN;
- A importância relativa entre os três fatores não é considerada;
- Não há explicação racional sobre a obtenção algébrica do RPN;
- A conversão na escala é diferente para os três fatores;
- O RPN não é contínuo e as variações nos fatores podem corresponder a variações diferentes no RPN;
- O RPN desconsidera outros fatores que podem vir a ser importantes;
- Os três fatores são difíceis de serem determinados com precisão.

Observa-se, portanto, que a partir desse processo pode-se incorrer em decisões errôneas quanto à priorização das falhas acarretando problemas futuros. Além disso, ainda há a questão referente à preferência do decisor, que não está sendo considerada, apesar de esse ser o mais afetado pelos bons ou maus resultados de suas ações.

4. Apoio Multicritério a Decisão

O Apoio Multicritério a Decisão é fundamentado na análise de problemas de decisão onde existem critérios conflitantes para os atores do processo decisório. Esses métodos são utilizados para apoiar e conduzir os decisores na avaliação e escolha das alternativas de ação mais apropriadas (ALMEIDA & COSTA, 2003).

Vários métodos foram desenvolvidos para o tratamento desse tipo de problema. Eles podem ser destacados em dois grupos representativos de duas grandes escolas de pensamento

denominadas na literatura: Americana e Francesa (ou européia). Para a primeira destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) e para a segunda, os métodos de sobreclassificação, dentre os quais se destacam a família ELECTRE e PROMÉTHÉE.

Outro aspecto importante a ser destacado refere-se à natureza da problemática em questão. Roy (1996) categoriza as problemáticas da seguinte forma:

- Problemática de escolha ($P.\alpha$): tem como objetivo auxiliar na escolha da “melhor” ação, orientando a investigação no sentido de encontrar um subconjunto de ações tão pequeno quanto possível;
- Problemática de Classificação ($P.\beta$): tem como objetivo a alocação de cada ação em uma classe, definidas a priori;
- Problemática de Ordenação ($P.\gamma$): tem como objetivo a construção de um ranking das alternativas em ordem decrescente de preferência;
- Problemática de Descrição ($P.\delta$): tem como objetivo apoiar a decisão através de uma descrição das ações e de suas consequências.

Neste trabalho, será utilizado um método da Escola Francesa, mais precisamente o ELECTRE TRI, que trata da problemática de classificação ($P.\beta$).

4.1. O Método ELECTRE TRI

O ELECTRE TRI é um método de sobreclassificação da família ELECTRE (*Elimination and Choise Translating Algorith*). Esses métodos fundamentam-se na construção de uma relação de sobreclassificação que considera as preferências estabelecidas pelo decisor diante dos problemas e das alternativas disponíveis. Segundo Roy (1996) a relação de sobreclassificação (S) corresponde à existência de razões claras que justifiquem a existência de uma relação binária definida em A , tal que aSb se a é pelo menos tão boa quanto b . Essa relação não exige a transitividade.

Neste sentido, o objetivo do ELECTRE TRI é alocar um conjunto discreto de alternativas $A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ dentro de $p + 1$ grupos C_1, C_2, \dots, C_{p+1} . Cada alternativa x_j é considerada como um vetor $g_j = \{g_{j1}, g_{j2}, \dots, g_{jm}\}$ referente a performance da alternativa x_j sobre o conjunto de critérios avaliados g . Assim, tem-se um conjunto de critérios $\{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ e um conjunto de índices de alternativas de referência, ou perfis $\{b_1, b_2, \dots, b_h, \dots, b_p\}$, definindo $p + 1$ categorias, em que b_h ($h = 1, 2, \dots, p$) representa o limite superior da categoria C_h e o limite inferior da categoria C_{h+1} .

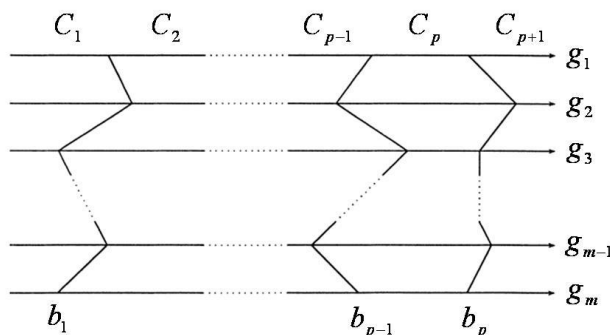


Figura 1 – Definição das categorias utilizando os perfis
(Adaptado de Mousseau *et al*, 2001)

O ELECTRE TRI trata de problemas que são modelados por uma família de pseudo-critérios, no qual os limiares de preferência e indiferença $p_j(b_h)$ e $q_j(b_h)$ constituem as informações intracritérios. Deste modo, $q_j(b_h)$ especifica a maior diferença $g_j(a) - g_j(b_h)$, que preserva a indiferença entre a e b_h no critério g_j e $p_j(b_h)$ representa a menor diferença $g_j(a) - g_j(b_h)$, compatível com uma preferência de a no critério g_j .

A relação de subordinação é construída para tornar possível a comparação de uma alternativa a com um limite padrão b_h . Na validação da afirmação aSb_h (ou b_hSa), devem-se verificar duas condições:

- Concordância: para que aSb_h (ou b_hSa) seja aceita, uma maioria suficiente de critérios deve ser a favor desta afirmação; e
- Não-discordância: quando na condição de concordância esperada, nenhum dos critérios na minoria deve se opor à afirmação aSb_h (ou b_hSa).

Na construção de S é utilizado um conjunto de limiares veto $(v_1(b_h), v_2(b_h), \dots, v_m(b_h))$, usado no teste de discordância. $v_j(b_h)$ representa a menor diferença $g_j(b_h) - g_j(a)$, incompatível com a afirmação aSb_h .

Mousseau *et al* (1999) sugerem que a relação de classificação deva ser construída a partir das seguintes etapas:

- a) Computar o índice parcial de concordância $c_j(a, b_h)$ e $c_j(b_h, a)$;
- b) Computar o índice total de concordância $c(a, b_h)$;
- c) Computar o índice parcial de discordância $d_j(a, b_h)$ e $d_j(b_h, a)$;
- d) Computar a relação de sobreclassificação *fuzzy*, conforme o índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$;
- e) Determinar o limite de corte ($\lambda - cut$) da relação *fuzzy* para obter a relação de sobreclassificação. Isto é, se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda \Rightarrow aSb_h$.

Os índices de concordância parcial, concordância total e discordância parcial são calculados pelas Fórmulas 1, 2 e 3.

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} & \text{s.n} \end{cases} \quad (1)$$

$$c(a, b_h) = \frac{\sum_{j \in F} w_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} w_j} \quad (2)$$

$$d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)} & \text{s.n} \end{cases} \quad (3)$$

Além desses, é calculado um índice de credibilidade $\sigma(a, b_h) \in [0;1]$ que permite avaliar o grau de credibilidade da afirmação que aSb_h . Essa afirmação é considerada válida se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$, onde λ é o nível de corte situado no intervalo 0,5 e 1. Assim, o índice de credibilidade é encontrado em função da concordância e da discordância entre os pares de alternativas, sendo calculado de acordo com a Fórmula 4.

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)} \text{ onde } \bar{F} = \{j \in F : d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\} \quad (4)$$

A classificação das alternativas é feita mediante um procedimento pessimista ou otimista. Neste sentido, o ELECTRE TRI classifica as alternativas segundo dois passos principais: construção de uma relação de sobreclassificação S , a qual caracteriza como as alternativas são comparadas aos limites das classes; e, exploração (através de procedimentos de classificação) da relação S .

Mais detalhes do método ELECTRE TRI podem ser encontrados em Belton (2002), Vincke (1992), Mousseau *et al* (1999) e Mousseau *et al* (2001).

5. Abordagem proposta

5.1. Caracterização do problema

O problema consiste na classificação de um conjunto de equipamentos dentro de categorias predefinidas para, a partir daí, direcionar as melhores atividades de manutenção a serem exercidas pela empresa, respeitando as particularidades de cada classe de equipamentos. Ou seja, procura-se uma política de manutenção adequada para cada conjunto de equipamentos, os quais apresentem características similares nos critérios apresentados. Dessa forma, o processo de priorização ou classificação de equipamentos, utilizando o ELECTRE TRI, busca a realização apenas das atividades de manutenção importantes e necessárias, evitando-se desperdício de tempo e de recursos.

A fim de cumprir com o objetivo de estabelecer um planejamento macro de manutenção, as informações sobre as características dos equipamentos são bastante relevantes para o processo de alocação eficiente de recurso e a garantia do desempenho requerido do sistema. Contudo, muitas vezes, essas informações essenciais estão dispostas de forma desestruturada; resumem-se, em alguns casos, a aglomerados de dados; não raro, contêm várias inconsistências e, por fim, podem não existir em função da dificuldade de obtê-las na minúcia requerida por alguns métodos.

Com base nisso, a partir de uma perspectiva multicritério, propõe-se um modelo que permita um primeiro filtro para os equipamentos de uma planta produtiva, a fim de que, com base na distinção entre classes de prioridade, permita o melhor direcionamento dos recursos para os equipamentos que, sob uma perspectiva mais global e levando-se em consideração as

preferências do decisor, são “mais importantes”.

Tendo em vista que a ausência de qualquer procedimento no planejamento de manutenção ainda consiste da sistemática de ação de muitas empresas, bem como os aspectos controversos de algumas técnicas usadas para esse fim, o procedimento proposto coloca-se como uma alternativa factível. Sob uma visão, inicialmente, macro, propõe-se uma forma simples do melhor uso de informações de alta granulação, enquanto as mais detalhadas ainda estão sendo coletadas para um melhor refinamento do processo de planejamento do uso dos recursos de manutenção. Esse processo pode ser replicado em camadas iniciando-se com os equipamentos de uma planta produtiva, para posteriormente ser dedicado aos componentes e, finalmente, aos modos concorrentes de falhas de tais componentes, sendo para isso, necessários apenas pequenos ajustes.

O modelo proposto considera, além dos critérios frequência de falhas e grau de dificuldade de detecção, já bastante usados em análises desse tipo, os critérios consequência econômica e ambiental e o conceito de *delay-time*, que vem se popularizando bastante, devido principalmente a aderência desse último aspecto as características dos problemas reais de manutenção. Mais recentemente, várias inovações têm sido propostas, tendo como base o conceito de *delay-time* na modelagem dos problemas de manutenção. Para conhecimento dos mais recentes, ver Ferreira *et al*, 2009; Scarf *et al*, 2008; Scarf *et al*, 2009; e Scarf & Cavalcante, 2008.

6. Aplicação da abordagem proposta

Objetivando ilustrar a aplicação da abordagem proposta, apresenta-se aqui um caso realístico de aplicação da mesma. A aplicação seguiu as seguintes etapas:

6.1. Identificar o objeto de estudo

Nesta etapa, busca-se identificar o objeto de estudo, ou seja, os equipamentos que serão avaliados. Para isso, destaca-se a importância de a empresa possuir um inventário dos equipamentos de sua planta, codificado e analisado. Nesta aplicação foram considerados 10 equipamentos genéricos: $\{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$.

6.2. Especificar os critérios

Segundo Gomes *et al* (2006), critério pode ser definido como uma ferramenta que possibilita a comparação de alternativas segundo um eixo particularmente significativo ou ponto de vista. Assim, com o objetivo de possibilitar o procedimento de classificação para este problema, foram avaliados critérios coerentes e não redundantes, os quais definem os aspectos, fatores ou características mais importantes. São os critérios g_1 , g_2 , g_3 , g_4 e g_5 , respectivamente:

- Consequência de Segurança e Meio Ambiente: refere-se à possibilidade de ferir, machucar ou matar alguma pessoa ou causar a violação de algum padrão ambiental caso ocorra a falha do equipamento;
- Consequência Econômica: está relacionada diretamente à perda de capital resultante da falha. Não envolve apenas os custos de conserto, mas também perdas econômicas decorrentes da indisponibilidade da produção (continuidade operacional), multas, impactos na qualidade do produto gerando retrabalhos, dentre outros;
- Frequência de Falhas: corresponde ao quão frequente o equipamento falha;
- *Delay-time*: representa o tempo decorrido desde o surgimento do defeito até o momento em que este ocasiona uma falha no sistema. Equipamentos com menor *delay-time* precisam

de uma vigilância redobrada, já que o prazo necessário para os correspondentes reparos é mínimo;

- Grau de Dificuldade de Detecção: corresponde a dificuldade de se detectar que ocorreu um defeito ou falha. Ou seja, quando ocorre a falha, ela não se torna evidente para o operador ou o profissional de manutenção. Equipamentos com grau de detecção alto merecem maior atenção.

6.3. Especificar a escala para os julgamentos dos graus de importância de cada critério

Uma avaliação em uma escala tem como propósito fazer a graduação de um fator, desde que essa escala permita exibir uma propriedade específica, seja um julgamento absoluto ou relativo (GOMES *et al*, 2006).

Para avaliar o desempenho dos equipamentos nos critérios apresentados foi utilizada as escalas de julgamento ilustradas nas Tabelas 1 a 5.



Descrição	Nota
Consequência Catastrófica	5
Consequência Grave	4
Consequência Moderada	3
Consequência Baixa	2
Consequência Insignificante	1

Tabela 1 – Escala para julgamento de valor no critério Consequência de Segurança e Meio Ambiente

Descrição	Nota
Perda de mais de 20.000 unidades monetárias	5
Perda de 15.001 a 20.000 unidades monetárias	4
Perda de 10.001 a 15.000 unidades monetárias	3
Perda de 5.001 a 10.000 unidades monetárias	2
Perda de 0 a 5.000 unidades monetárias	1

Tabela 2 – Escala para julgamento de valor no critério Consequência Econômica

Descrição	Nota
Falhou mais de 15 vezes no período	5
Falhou de 12 a 15 vezes no período	4
Falhou de 8 a 11 vezes no período	3
Falhou de 4 a 7 vezes no período	2
Falhou de 0 a 3 vezes no período	1

Tabela 3 – Escala para julgamento de valor no critério Frequência de Falhas

Descrição	Nota
<i>Delay-time</i> de 0 a 10 unidades de tempo	5
<i>Delay-time</i> de 11 a 20 unidades de tempo	4
<i>Delay-time</i> de 21 a 30 unidades de tempo	3
<i>Delay-time</i> de 31 a 40 unidades de tempo	2
<i>Delay-time</i> de mais de 40 unidades de tempo	1

Tabela 4 – Escala para julgamento de valor no critério *Delay-time*

Descrição	Nota
Detecção Quase Impossível	5
Detecção Difícil	4
Detecção Moderada	3
Detecção Fácil	2
Detecção Imediata	1

Tabela 5 – Escala para julgamento de valor no critério Grau de Dificuldade de Detecção

6.4. Definir os pesos de cada critério

O critério de maior peso considerado foi o critério referente à Consequência Econômica, já que o principal objetivo da manutenção é assegurar a continuidade da produção, sem paradas, atrasos, e, conseqüentemente, perdas financeiras. Já o critério g_5 foi o que recebeu menor peso, como pode ser visualizado na Tabela 6.

Critério	Peso
g_1	0,25
g_2	0,35
g_3	0,18
g_4	0,12
g_5	0,1

Tabela 6 – Peso dos critérios

6.5. Definir as categorias

O ELECTRE TRI foi concebido para o tratamento de ações em categorias ordenadas. Ele possibilita a classificação de um conjunto de alternativas em categorias pré-definidas e ordenadas com base em múltiplos critérios, conforme ilustrado na Figura 2.

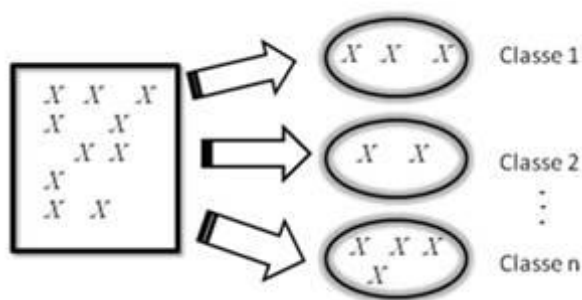


Figura 2 – Problemas de classificação ordenada
(Adaptado de Mousseau *et al*, 1999)

Neste trabalho, foram consideradas cinco categorias ordenadas segundo o seu grau de importância no que tange a prioridade de planejamento e execução das ações de manutenção. As classes consideradas foram:

- C_1 : classe formada por equipamentos extremamente críticos. A ocorrência de uma falha em qualquer equipamento pertencente a esta classe trará graves prejuízos para a organização;

- C_2 : classe formada por equipamentos de prioridade (importância) alta.
- C_3 : classe formada por equipamentos de prioridade (importância) intermediária.
- C_4 : classe formada por equipamentos de prioridade (importância) baixa.
- C_5 : classe formada por equipamentos de baixíssima prioridade. Ou seja, pode-se, de certa forma, negligenciar a manutenção dos equipamentos pertencentes a esta classe para direcionar os esforços de forma mais concentrada em outros equipamentos mais críticos.

6.6. Avaliar desempenho dos equipamentos em cada critério

Nesta etapa, a empresa precisa coletar e tomar nota do desempenho de cada equipamento nos critérios considerados. Para isso, é imprescindível a participação de uma equipe multidisciplinar, envolvendo desde operadores até especialistas. A Tabela 7 ilustra os resultados obtidos.

Alternativa\Critério	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
x_1	1	1	2	1	3
x_2	4	5	1	3	4
x_3	3	2	3	4	2
x_4	3	4	3	4	1
x_5	5	5	1	5	1
x_6	4	3	2	4	3
x_7	1	2	5	2	2
x_8	2	3	5	3	5
x_9	1	1	3	2	2
x_{10}	2	3	4	5	3

Tabela 7 – Desempenho das alternativas

6.7. Estabelecer as classes de equivalência

As classes de equivalência servirão como padrões para que seja feita a classificação dos equipamentos. As classes de equivalência adotadas para este trabalho são definidas por limites inferiores e superiores (“perfis”), conforme ilustrado na Tabela 8.

Classe	Limite Inferior	Limite Superior
C_1	4,5	-
C_2	3,5	4,5
C_3	2,5	3,5
C_4	1,5	2,5
C_5	-	1,5

Tabela 8 – Classes de equivalência e seus limites inferiores e superiores

6.8. Estabelecer limites de preferência e indiferença

Adotaram-se os valores dos limites de preferência e de indiferença iguais a 0. Esses valores foram definidos com base na escala de julgamento utilizada (valores inteiros no intervalo de 1 a 5) e na definição dos perfis das classes.

6.9. Executar o método ELECTRE TRI

Desconsiderando o limiar de veto e definindo $\lambda = 0,5$, foi obtido o resultado apresentado na Tabela 9. A simulação do problema foi realizada com o auxílio do SAD (Sistema de Apoio a Decisão) proposto por Mousseau *et al* (1999).

Equipamento	ELECTRE TRI	
	Pessimista	Otimista
x_1	C_5	C_5
x_2	C_2	C_2
x_3	C_3	C_3
x_4	C_3	C_3
x_5	C_1	C_1
x_6	C_3	C_3
x_7	C_4	C_4
x_8	C_3	C_3
x_9	C_5	C_5
x_{10}	C_3	C_3

Tabela 9 - Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI

6.10. Avaliar os resultados obtidos

Observa-se que o único equipamento classificado como extremamente crítico foi o equipamento x_5 . Isto se deve ao fato de que, caso ocorra uma falha neste equipamento, haverá perdas catastróficas para a empresa no que se refere aos aspectos relacionados com as dimensões financeira, humana e ambiental; e, além disso, este equipamento possui um pequeno *delay-time*, merecendo atenção redobrada.

Em seguida, classificado como equipamento de alta importância tem-se o equipamento x_2 ; de importância moderada, x_3 , x_4 , x_6 , x_8 , x_{10} ; de pouca importância, x_7 e, finalmente, os equipamentos de baixíssima prioridade, x_1 e x_9 .

A simulação mostra-se, portanto, útil ao possibilitar o direcionamento das ações de manutenção da empresa focada nos equipamentos mais críticos (x_5 e x_2), enquanto se pode negligenciar, de certa forma, as ações nos equipamentos considerados “menos importantes” (x_1 , x_9 e x_7).

7. Conclusão

Existem na literatura técnica alguns procedimentos para a determinação de criticidade de

falha de equipamentos em função das conseqüências que essas podem causar, como por exemplo, o uso da ferramenta FMEA. No entanto, observa-se que tais técnicas apresentam algumas etapas que poderiam ser conduzidas de uma maneira melhor.

Neste sentido, este trabalho propôs uma nova ferramenta de classificação que permitiu um tratamento adequado da atribuição de criticidade aos equipamentos em face de suas características operacionais, sua função e importância no sistema. Isso foi feito mediante uma abordagem multicritério mais robusta, utilizando-se o método ELECTRE TRI.

Com a classificação ordenada realizada a partir do ELECTRE TRI, tem-se como resultado a determinação, de forma sistemática e lógica, das políticas de manutenção mais indicadas tecnicamente, considerando a criticidade dos equipamentos. Promove-se, portanto, o aprimoramento do desempenho operacional da empresa como um todo, pela adoção do planejamento de manutenção mais eficiente para cada classe de equipamentos.

Por fim, sugere-se para trabalhos futuros a realização de um estudo para avaliar os atuais critérios e propor a adição de novos critérios de avaliação. Pode-se também considerar uma abordagem com o método ELECTRE TRI para análise e classificação de criticidade, não mais dos equipamentos, mas sim de componentes e de forma ainda mais detalhada, quando as informações se fizerem presentes, dos modos de falha concorrentes dos mesmos. Dessa forma, pode-se fazer uso de uma técnica evolutiva em que planejamentos mais refinados são empregados a partir dos planos iniciais de manutenção.

8. Referências

- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão*. 1ª edição. Recife: Universitária, 2003.
- BELTON, V. & STEWART, J. *Multiple Criteria Decision Analysis – an Integrated Approach*. London: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- CARRETERO, J.; PÉREZ, J. M.; GARCÍA-CARBALLEIRA, F.; CALDERÓN, A.; FERNÁNDEZ, J.; GARCÍA, J. D.; LOZANO, A.; CARDONA, L.; COTAINA N.; PRETE, P. *Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks*. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 82, p.257-273, 2003.
- CHIN, K.; WANG, Y.; POON, G. K. K.; YANG, J. *Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach*. Computers & Operations Research, Vol. 36, p.1768-1779, 2009.
- DEKKER, R. *Applications of maintenance optimization models: a review and analysis*. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 51, p.229-240, 1996.
- DUFFUAA, S.O. & AL-SULTAN, K.S. *Mathematical Programming Approaches for the Management of Maintenance Planning and Scheduling*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 3, n.3, p.163-176, 1997.
- FONSECA, D.J. & KNAPP, G.M. *An expert system for reliability centered maintenance in the chemical industry*. Expert Systems with Applications, Vol. 19, p. 45-57, 2000.
- FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V. *A multi-criteria decision model to determine inspection intervals of condition monitoring based on delay time analysis*. Reliability Engineering and System Safety, Vol 94, p.905-912, 2009.
- GOMES L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. 2ª edição. São Paulo: Thomson, 2006.
- KIMURA, F.; HATA, T.; KOBAYASHI, N. *Reliability-Centered Maintenance Planning based on Computer-Aided FMEA*. The 35th CIRP-International Seminar on Manufacturing Systems, 12-15 May 2002, Seoul, Korea.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. *ELECTRE TRI 2.0a methodological guide and user's manual*. Document du LAMSADE, Université Paris-Dauphine, Paris: Fev. 1999.

MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J.; NAUX, J.-PH. *Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: Some experimental results.* European Journal of Operational Research, Vol. 130, p. 263-275, 2001.

RAUSAND, M. *Reliability centered maintenance.* Reliability Engineering and System Safety, Vol. 60, p.121-132, 1998.

RHEE, S. J. & ISHII, K. *Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability.* Advanced Engineering Informatics, Vol. 17, p.179-188, 2003.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding.* London: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SCARF, P. A.; CAVALCANTE, C. A. V. *Mixed maintenance policies for mixed items.* In: OR50 Annual Conference, 2008, York.

SCARF, P. A.; CAVALCANTE, C. A. V.; DWIGHT, R. W.; GORDON, P. *A hybrid age-based maintenance policy for heterogeneous items.* In: ESREL 2008, Valencia.

SCARF, P. A.; CAVALCANTE, C. A. V.; DWIGHT, R. W.; GORDON, P. *An age-based inspection and replacement policy for heterogeneous items.* IEEE Transactions on Reliability, Vol. 57, p.1-15, 2009.

VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid.* Bruxelles: John Wiley & Sons, 1992.